

**(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG**

**(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro**



**(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Juli 2003 (24.07.2003)**

**PCT**

**(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/059531 A2**

**(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>:** B05D 1/32, 3/06

**(74) Gemeinsamer Vertreter:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

**(21) Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP02/14500

**(81) Bestimmungsstaaten (national):** CN, JP, US.

**(22) Internationales Anmeldedatum:**

18. Dezember 2002 (18.12.2002)

**(84) Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

**(25) Einreichungssprache:** Deutsch

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];

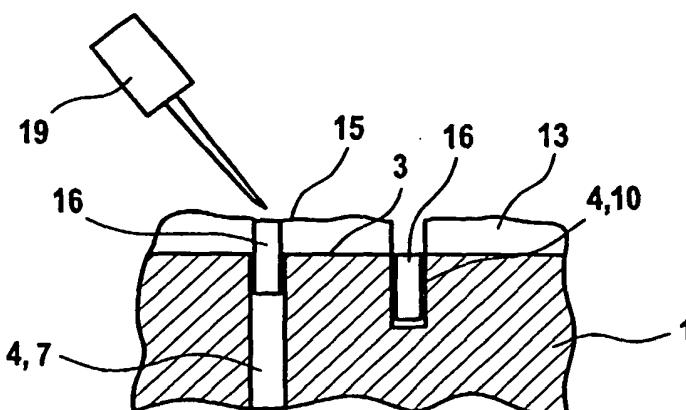
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

**(72) Erfinder; und**

**(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):** JEUTTER, Andre [DE/DE]; Kirchstrasse 48, 71120 Grafenau (DE). STAMM, Werner [DE/DE]; Kahlenberg 18, 45481 Mülheim a.d. Ruhr (DE).

**(54) Title:** METHOD FOR COATING A SUBSTRATE HAVING HOLES

**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN VON EINEM SUBSTRAT MIT LÖCHERN



**WO 03/059531 A2**

von einem Substrat (1) mit Löchern (4) ermöglicht es, dass die Löcher (4) in ihrer Geometrie nicht verändert werden, weil diese mittels eines Stopfens (16) geschützt werden.

**(57) Abstract:** Prior art coating methods have the following drawback in that the dimensions of existing holes in the substrate are altered when coating them thereby limiting the function and effect of the hole and of the substrate. The inventive method for coating a substrate (1) having holes (4) makes it possible for holes (4) to retain their dimensions due to the fact that they are protected by a stopper (16).

**(57) Zusammenfassung:** Beschichtungsverfahren nach dem Stand der Technik haben den Nachteil, dass bei der Beschichtung vorhandene Löcher im Substrat in ihrer Geometrie verändert werden, und so die Funktion und die Wirkung des Lochs und des Substrats einschränken. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Beschichtung



## Beschreibung

### Verfahren zum Beschichten von einem Substrat mit Löchern

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beschichtung von einem Substrat mit Löchern.

Filmgekühlte Substrate in Form von Turbinenschaufeln weisen Löcher, beispielsweise für die Durchleitung des Kühlmittels, 10 auf, wobei auf das metallische Substrat der Turbinenschaufeln noch weitere Schichten, wie z.B. sogenannte MCrAlY-Schichten oder Wärmedämmsschichten aufgebracht werden. Dabei dürfen die Filmkühlbohrungen im Substrat in der Geometrie nicht beeinträchtigt werden, weil es sonst während des Betriebes zu 15 einer Erhöhung der Oberflächentemperatur der Turbinenschaufel kommt, was zu einer Reduzierung der Lebensdauer der Turbinenschaufel führt.

Zur Beschichtung des metallischen Substrats im Rahmen der 20 Herstellung einer Turbinenschaufel werden beispielsweise elektro-chemische Verfahren verwendet, bei denen die Schichten bei niedrigen Temperaturen (z.B. 50 °C) auf das Substrat aufgebracht werden. Bei einer Schicht, die nach einem solchen Verfahren aufgebracht wird, kommt es jedoch im 25 oberflächennahen Bereich zum Ausbrechen von Partikeln und zu Konzentrationsinhomogenitäten der Schicht, was die Funktion der Schicht beeinträchtigt. Dies hat bei einer MCrAlY-Schicht eine Verschlechterung der Oxidationsbeständigkeit und bei Aufbringung einer Wärmedämmsschicht eine Verschlechterung der 30 Haftung der Wärmedämmsschicht zur Folge.

Aufgabe der Erfindung ist es, dementsprechend ein Verfahren anzugeben, bei dem ein Loch, insbesondere ein Filmkühlloch, 35 eines Substrats bei einer Aufbringung einer Schicht auf das Substrat und der nachfolgenden Behandlungen in seiner

Geometrie erhalten bleibt und ein verbesserter Zusammenhalt der Schicht gewährleistet ist.

Die Aufgabe wird durch das Verfahren gemäss Anspruch 1  
5 gelöst.

Das erfindungsgemässe Verfahren zur Beschichtung von einem Substrat, vorzugsweise einer Turbinenschaufel, mit Löchern sieht vor, dass in einem ersten Schritt die Löcher mit einem 10 Material oder Stopfen so gefüllt werden, dass sie nach außen abgedeckt und so im folgenden vor Veränderungen ihrer Geometrie geschützt werden. In einem weiteren Schritt findet eine vorteilhafte elektro-chemische oder Niedertemperaturaufbringung zumindest einer Schicht statt.

15 Während der Beschichtung schützt der Stopfen das Loch vor Materialbefüllung, da er bei den Temperaturen des Beschichtungsvorgangs formstabil ist. Zumindest eine Schicht benötigt eine Bestrahlung der Oberfläche, bei der eine vorteilhafte Teilaufschmelzung der 20 Oberfläche der Schicht erfolgt. Durch die Bestrahlung der Oberfläche werden die oberflächennahen Partikel der Beschichtung mit dem Substrat unter Homogenisierung der Elementverteilung verbunden, so dass auch unter extremen Einsatzbedingungen die Funktion der Schicht als 25 Oxidationsschutz bzw. Haftvermittlerschicht erhalten bleibt. Gleichzeitig wird eine Veränderung der Lochstruktur durch das nur an der Oberfläche wirksame Verfahren verhindert.

30 Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens gemäss Anspruch 1 sind in den Unteransprüchen aufgelistet.

Der Stopfen ist bei einer Temperatur, die höher ist als beim Niedertemperaturaufbringungsverfahren, beispielsweise weich und lässt sich gut in das Loch einbringen. Beim 35 Niedertemperaturaufbringungsverfahren lässt sich der Stopfen gut durch Erwärmung entfernen. Vorzugsweise ist der Stopfen

aus Wachs. Der Stopfen kann auch aus Graphit sein, der sich an Luft durch Oxidieren leicht entfernen lässt.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemässen Verfahrens  
5 besteht darin, dass bei der Oberflächenbehandlung das abdampfbare Material aus dem Loch abgedampft, d. h. entfernt werden kann.

10 Als Ausführungsbeispiel sind in der Figur 1a bis 1d einzelne Schritte des erfindungsgemässen Verfahrens schematisch dargestellt.

15 Figur 1a zeigt ein Substrat 1, das bspw. einen Teilausschnitt einer Turbinenschaufel, insbesondere Gasturbinenschaufel, darstellt.

Das Substrat 1 weist zumindest ein Loch 4 auf. Das zumindest eine Loch 4 kann ein Durchgangsloch 7 oder ein Sackloch 10 sein. Das Durchgangsloch 7 wird beispielsweise als Filmkühlloch verwendet, wobei im Betrieb der Turbinenschaufel 20 1 bspw. Luft von innen nach aussen durch das Filmkühlloch 7 strömt und das Substrat 1 an der Oberfläche vor heissen Gasen schützt.

Das Substrat 1 weist eine Oberfläche 3 auf.

25 Im oberflächennahen Bereich wird in einem ersten Schritt des erfindungsgemässen Verfahrens ein Stopfen 16 in das Loch 4 eingeführt (Fig. 1b). Der Stopfen 16 kann bündig mit dem Loch abschließen oder auch über die Oberfläche 3 hinausragen. Das Substrat 1 aus Metall oder Keramik kann auch schon eine 30 Beschichtung aufweisen, auf die eine weitere Schicht 13 (Fig. 1c) aufgebracht wird.

Als Material für den Stopfen 16 können Wachs, Loctite-Kleber oder andere Materialien verwendet werden, die bei der 35 Beschichtungstemperatur der Schicht 13 in ihrer Form hitzebeständig sind, sich vorzugsweise aber bei einer höheren Temperatur bspw. abdampfen lassen.

Das Wachs wird bspw. In fester Form in das Loch 4 hineingedrückt oder erwärmt, dass es in das Loch 4 hinein fliesst und sich ein Stopfen 16 bildet.

5 In einem weiteren Schritt (Fig. 1c) wird auf die Oberfläche 3 des Substrats 1 selbst oder einer bereits auf dem Substrat 1 vorhandenen Schicht die zumindest eine bspw. metallische Schicht 13 aufgebracht. Dies kann z. B. eine sogenannte MCrAlY-Schicht sein, wobei „M“ für ein Element Eisen, Kobalt 10 oder Nickel steht. Eine solche Schicht dient zum Oxidationsschutz des Substrats 1.

Diese Schicht 13 ist mittels eines Beschichtungsverfahrens bei niedrigen Temperaturen beispielsweise einer elektro-chemischen Aufbringung auf das Substrat 1 aufgebracht worden.

15 Elektrochemische Beschichtungsverfahren finden beispielsweise bei einer Temperatur unterhalb 250°C, insbesondere unter 100°C, vorzugsweise bei etwa 50°C statt. Es kann auch eine Keramik auf die Oberfläche 3 des Substrats 1 aufgebracht werden, bspw. eine Wärmedämmsschicht.

20 Aufgrund der niedrigen Temperaturen kommt es zu keinen oder kaum zu Spannungen zwischen Schicht und Substrat, da eventuell verschiedene Ausdehnungskoeffizienten oder unterschiedliche Temperaturen von Substrat und Schicht bei einer Abkühlung keine oder nur geringe Spannungen erzeugen 25 können.

Wenn der Stopfen 16 über die Oberfläche 3 des Substrats hinausragt, so findet auf dem herausragenden Teil kein Materialauftrag statt. Auch wenn der Stopfen 16 nicht aus der 30 Oberfläche 3 hinausragt, sondern einen ebenen Abschluss mit der Oberfläche 3 bildet, findet ebensowenig ein Materialauftrag im Bereich des Stopfens 16 statt, weil eine Haftung des Materials der Schicht 13 auf dem Stopfen 16 bspw. kaum oder nicht möglich ist.

35 Die Schicht 13 benötigt eine Nachbehandlung durch Bestrahlung der Oberfläche 15 (Fig. 1c), bei dem eine bessere Haftung von

## 5

Partikeln der Schicht 13 und eine Homogenisierung im oberflächennahen Bereich erfolgt. Dabei wird die Schicht 13 an und/oder unter der Oberfläche 15 bspw. aufgeschmolzen.

Dies kann durch eine Laserbehandlung oder durch bspw.

5 gepulste Elektronenbestrahlung erfolgen.

So wird eine gleichmässige Verteilung der Elemente von aufgebrachten CrAlY-Partikeln erreicht.

Weitere Methoden sind hier denkbar.

10 Bei der Bestrahlung der Oberfläche mittels eines Oberflächenbehandlungsgeräts 19 kann die Temperatur beispielsweise so gewählt sein, dass der Stopfen 16 abdampft. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass in einem zusätzlichen Wärmebehandlungsschritt der Stopfen 16 15 abgedampft wird oder einfach mechanisch entfernt wird.

Figur 1d zeigt ein Substrat 1 mit einer Schicht 13, bei dem die Geometrie des Lochs 4 auch nach der Beschichtung erhalten ist.

20 Wenn die Schicht 13 eine MCrAlY Schicht ist, kann auch noch eine keramische Wärmedämmsschicht in derselben Art und Weise aufgebracht werden.

Das Verfahren findet auch Anwendung beim Refurbishment, d.h. 25 beim Wiederbeschichten eines bereits verwendeten Substrats.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Beschichtung eines Substrats (1),  
das zumindest ein Loch (4) aufweist,  
5 bei dem in einem ersten Schritt das zumindest eine Loch  
(4) mit einem Stopfen (16) abgedeckt wird,  
in einem weiteren Schritt zumindest eine Schicht (13)  
auf eine Oberfläche (3) des Substrats (1) aufgebracht  
wird und  
10 wobei es sich bei den Aufbringungsverfahren für die  
Schicht (13) um ein Beschichtungsverfahren bei niedrigen  
Temperaturen handelt,  
in einem weiteren Schritt eine Bestrahlung einer  
Oberfläche (15) der zumindest einen Schicht (13)  
15 stattfindet,  
so dass eine bessere Haftung und Homogenisierung von  
Partikeln im oberflächennahen Bereich der Schicht (13)  
gegeben ist.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
das Substrat (1) eine Turbinenschaufel ist.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
bei der Bestrahlung ein Bereich unterhalb der Oberfläche  
(15) der Schicht (13) zumindest teilweise aufgeschmolzen  
wird.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
als Beschichtungsverfahren bei niedrigen Temperaturen  
ein elektrochemisches Verfahren zur Aufbringung von  
Schichten verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Temperatur bei dem Beschichtungsverfahren bei  
niedrigen Temperaturen unter 250°C, insbesondere unter  
100°C, liegt.
10. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Bestrahlung der Oberfläche (15) mittels gepulster  
Elektronenbestrahlung durchgeführt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Bestrahlung der Oberfläche (15) mittels einer  
Laserbehandlung durchgeführt wird.
20. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
während oder am Ende der Bestrahlung der Oberfläche (15)  
der Stopfen (16) aus dem oberflächennahen Bereich des  
Lochs (4) entfernt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Stopfen (16) mittels Abdampfen entfernt wird.
30. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Schicht (13) eine Keramik, insbesondere eine  
keramische Wärmedämmsschicht, oder ein Metall,  
insbesondere eine MCrAlY-Schicht (M= Fe, Co, Ni), ist.
35. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das zumindest eine Loch (4) ein Filmkühlloch oder eine

Prallkühlloch ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
5 der Stopfen (16) wachsartig ist.

1 / 1

